

## SEMICONDUCTOR PHOTODETECTOR

Publication number: JP8330558 (A)

Publication date: 1996-12-13

Inventor(s): FUKUDA KATSUYOSHI; SHIGENAKA KEITARO; NAKADA FUMIO; SAKAI TADASHI

Applicant(s): TOSHIBA CORP

Classification:

- international: G01J1/02; G01J5/02; G01J5/20; H01L27/14; H01L37/02;  
G01J1/02; G01J5/02; G01J5/20; H01L27/14; H01L37/00;  
(IPC1-7): H01L27/14; G01J1/02; H01L37/02

- European:

Application number: JP19950135222 19950601

Priority number(s): JP19950135222 19950601

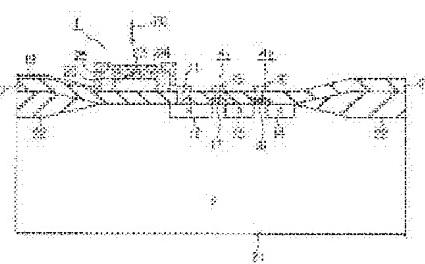
Also published as:

JP3349012 (B2)

### Abstract of JP 8330558 (A)

PURPOSE: To obtain a semiconductor photodetector of high sensitivity which operates at a normal temperature, by forming a light input part which is constituted of a porous semiconductor layer and a gap part, and a detecting means for detecting resistance change corresponding to the temperature change of the porous semiconductor layer changing by the light inputted in the light input part.

CONSTITUTION: An element isolation insulating film 22 is formed on the surface of a P-type silicon substrate 21, and an infrared input part 1 is formed in a divided element forming region. The infrared input 1 consists of a porous silicon layer 23 whose surface is roughened, a Schottky electrode 24 of gold or the like which forms Schottky junction, and a conductivity type poly silicon layer 25. An air gas part 26 is formed under the porous silicon layer 23.; Infrared rays 20 which have entered are absorbed in the Schottky electrode 24, whose temperature is increased. The infrared rays 20 are reflected at random by the roughened surface of the porous silicon layer 23, and enter again the layer 23, so that the temperature of the layer 23 itself effectively rises and largely changes.



.....  
Data supplied from the **esp@cenet** database — Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-330558

(43)公開日 平成8年(1996)12月13日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 01 L 27/14			H 01 L 27/14	K
G 01 J 1/02			G 01 J 1/02	B
H 01 L 37/02			H 01 L 37/02	

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 7 頁)

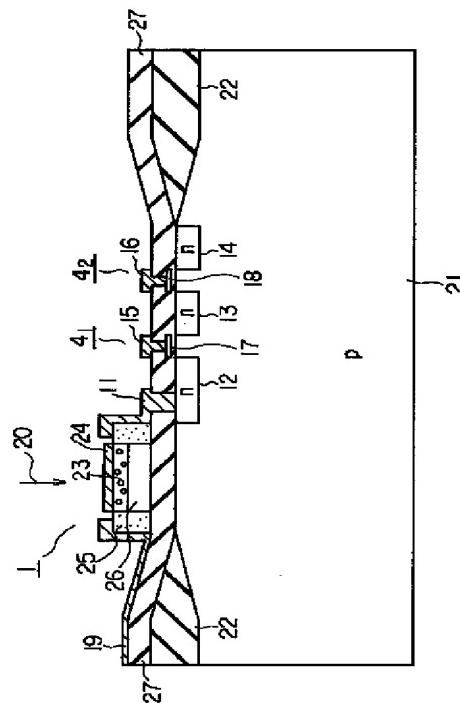
(21)出願番号	特願平7-135222	(71)出願人	000003078 株式会社東芝 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地
(22)出願日	平成7年(1995)6月1日	(72)発明者	福田 勝義 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内
		(72)発明者	重中 圭太郎 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内
		(72)発明者	中田 文夫 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内
		(74)代理人	弁理士 鈴江 武彦
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体光検出装置

(57)【要約】

【目的】感度の高い半導体赤外線検出装置を提供すること。

【構成】多孔質シリコン層23と、この多孔質シリコン層23上に設けられたショットキー電極23とからなり、多孔質シリコン層23の下部に空隙部26を有する赤外線入力部1とを備えている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】多孔質半導体層からなり、空隙部を有する光入力部と、この光入力部に入力される光により生じる前記多孔質半導体層の温度変化に対応した抵抗変化を検出する検出手段とを具備してなることを特徴とする半導体光検出装置。

【請求項2】p-n接合を形成する多孔質半導体層からなり、空隙部を有する光入力部と、この光入力部に入力される光により生じる前記多孔質半導体層の温度変化に対応したゼーベック効果による熱起電力変化を検出する検出手段とを具備してなることを特徴とする半導体光検出装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体を用いて光を検出する半導体光検出装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】光検出装置の一種としてシリコン等の半導体の量子効果（光励起）を利用した半導体光検出装置が知られている。しかし、シリコンを用いた場合、約1.2μmより長波長の赤外線を検出することはできない。これは約1.2μmより長波長の赤外線はシリコンのバンドギャップよりエネルギーが小さいため励起されないからである。

【0003】そこで、光励起ではなく、赤外線の吸収により生じる温度変化を利用して常温動作の半導体検出装置が知られている。具体的には、赤外線の吸収により生じる温度変化に対する抵抗変化を電圧に変換して検出するボロメータ方式の半導体光検出装置が知られている。

【0004】しかしながら、この種の半導体光検出装置には以下のような問題があった。抵抗温度変化係数Rは $(1/\rho) \cdot (\Delta\rho/\Delta T)$ で表され、シリコンの場合、比抵抗ρは約10Ωcm程度の低い値しか得られず、温度変化係数Rの値は通常1%と低い。すなわち、温度が変化しても抵抗はあまり変化しない。このため、抵抗変化を電圧変化に変えるために用いるバイアス電圧の印加により発生する熱雑音の影響を受け易く、感度が低いという問題があった。

【0005】さらに、シリコンの熱伝導率は、約1.7W/(cm·K)という高い値なので、赤外線の吸収により生じた熱は伝導拡散し易い。このため、大きな温度変化は得られず、これによっても感度が低くなるという問題があった。

【0006】また、従来の他の半導体光検出装置としては、ゼーベック効果を利用し、赤外線の吸収によるシリコンの温度変化に対応する電圧（熱起電力）変化を検出する熱起電力方式のものがある。

【0007】熱起電力方式の場合、バイアス電圧は不要なので、バイアス電圧の印加による熱雑音による感度低

下の問題はない。しかしながら、上述したように、シリコンの熱伝導率は、約1.7W/(cm·K)という高い値なので、赤外線の吸収により生じた熱は伝導拡散し易く、大きな温度変化は得られない。したがって、ゼーベック効果による熱起電力変化は小さく、感度が低いという問題があった。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】上述の如く、従来のボロメータ方式の半導体光検出装置にあっては、熱雑音の影響を受け易く、感度が低いという問題があった。さらに、シリコンは熱伝導率が高いので、熱の伝導拡散が起こり易く、大きな温度変化が得られず、これによっても感度が低くなるという問題があった。

【0009】また、従来の熱起電力方式の半導体光検出装置にあっては、熱雑音による感度の低下はなかったが、ボロメータ方式の場合と同様に、熱の伝導拡散によって感度が低下するという問題があった。本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、従来よりも常温動作で感度が高い半導体光検出装置を提供することにある。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明に係る半導体光検出装置（請求項1）は、多孔質半導体層からなり、空隙部を有する光入力部と、この光入力部に入力される光により生じる前記多孔質半導体層の温度変化に対応した抵抗変化を検出する検出手段とを備えたことを特徴とする。

## 【0011】

【作用】本発明に係る半導体光検出装置（請求項2）は、p-n接合を形成する多孔質半導体層からなり、空隙部を有する光入力部と、この光入力部に入力される光により生じる前記多孔質半導体層の温度変化に対応したゼーベック効果による熱起電力変化を検出する検出手段とを備えたことを特徴とする。

## 【0012】

【作用】本発明（請求項1）によれば、多孔質半導体層を用いているので、非多孔質半導体層を用いた場合（従来）に比べて、抵抗温度変化係数は大きくなり、一方、熱伝導率は小さくなるので、感度は高くなる。

【0013】抵抗温度変化係数が大きくなる理由は、多孔質化により結晶構造の微細化が生じ、これにより生じる量子効果によりバンドギャップが広くなつて比抵抗が増大するからである。一方、熱伝導率は多孔質化によつて小さくなる。

【0014】さらに、本発明によれば、光入力部は空隙部を存在するので、多孔質半導体層から発散する熱は空隙部に溜まり逃げ難くなり、これによっても熱伝導率は小さくなる。

【0015】本発明（請求項2）によれば、p-n接合を形成する多孔質半導体層を用いているので、p-n接合を形成する非多孔質半導体層を用いた場合（従来）に比べ

て、熱伝導率が小さくなるので、感度は高くなる。

【0016】さらに、上述したように、多孔質化によりバンドギャップが広くなることにより、ゼーベック係数S( $=\Delta V/\Delta T$ )が大きくなり、これによっても感度は高くなる。

【0017】ゼーベック係数Sが大きくなる理由は、ゼーベック係数Sは $(2 + (W_c - W_f)/kT) \cdot k/e$ で表せられ、 $(W_c - W_f/kT) >> 2$ で、 $W_c - W_f$ がバンドギャップにほぼ比例するからである。ここで、 $W_c$ は伝導帯レベル、 $W_f$ はフェルミレベルを示し、kはボルツマン定数、Tは温度、eは電子電荷を示している。

#### 【0018】

【実施例】以下、図面を参照しながら実施例を説明する。

(第1の実施例) 図1は、本発明の第1の実施例に係る半導体赤外線検出装置の概略構成を示す回路図である。

【0019】この半導体赤外線検出装置は、大きく分けて、マトリクス配列(二次元配列)された多孔質シリコン層からなる複数の赤外線入力部(画素)1と、上記多孔質シリコン層の温度変化に対応した抵抗変化を検出する差動増幅器2からなる抵抗変化検出部3と、この抵抗変化検出部3をMOSトランジスタ $4_1$ ,  $4_2$ を介して複数の赤外線入力部1に順次接続する水平レジスタ5および垂直レジスタ6から構成されている。

【0020】差動増幅器2の一端子はMOSトランジスタ $4_1$ ,  $4_2$ を介して赤外線入力部1に接続され、かつ抵抗7を介してバイアス電圧源8に接続されている。一方、差動増幅器3の+端子は抵抗9を介してバイアス電圧源8に接続され、かつ基準抵抗10を介して接地されている。抵抗9と抵抗10との値は通常同じである。

【0021】このように構成された半導体赤外線検出装置によれば、赤外線入力部1に赤外線が入力されて多孔質シリコン層の抵抗が変化すると、差動増幅器2の一端子に接続された赤外線入力部1の出力電圧 $V_1$ が変化する。これにより、差動増幅器2の+端子の入力電圧 $V_2$ と出力電圧 $V_1$ との差に対応した電圧が差動増幅器2により増幅される。

【0022】したがって、赤外線の入力により生じる赤外線入力部1の多孔質シリコンの温度変化に対応した抵抗変化を電圧の変化として検出できる。また、各赤外線入力部1から得られる電圧変化から、赤外線を放射している物体や生体の画像が得られる。

【0023】図2は、赤外線入力部1の構造を示す断面図である。図中、21はp型シリコン基板を示しており、このp型シリコン基板21の表面には素子分離絶縁膜22が形成されている。この素子分離絶縁膜22により区分された素子形成領域には赤外線入力部1が形成されている。

【0024】この赤外線入力部1は、大きく分けて、表

面が粗面化された多孔質シリコン層23と、この多孔質シリコン層23上に設けられ、ショットキー接合を形成する金などのショットキー電極24と、一導電型の多結晶シリコン層25から構成されている。

【0025】多孔質シリコン層23の下部には空隙部26が形成されている。この空隙部26は多孔質シリコン層23と多結晶シリコン層25とシリコン基板21上の層間絶縁膜27とにより形成されるものである。

【0026】赤外線20はショットキー電極24に入射し、ショットキー電極24は赤外線20を吸収して温度上昇する。このとき、ショットキー電極24を介して多孔質シリコン層23の表面に達した赤外線20は、多孔質シリコン層23の表面が粗面化されているため、乱反射を起こして多孔質シリコン層23に再入射する。さらに、ショットキー電極24はショットキー効果により単なる光吸収体(赤外線吸収層)として働き、電流は流れない。

【0027】したがって、赤外線20はショットキー電極24の温度上昇に有効に活用され、これにより、多孔質シリコン層23自身は $10\mu m$ 近傍の赤外線は吸収しないが、ショットキー電極24により多孔質シリコン層23は効果的に温度上昇し、大きく温度変化する。

【0028】また、多孔質シリコン層23の下部に存在する空隙部26により、多孔質シリコン層23から発散する熱は空隙部26に溜まり逃げ難くなり、熱伝導率を小さくできる。

【0029】このような機構により、赤外線20の入射により生じる多孔質シリコン層23の温度変化が大きくなるので、感度は高くなる。さらに、本実施例では以下の理由によっても感度が高くなる。

【0030】すなわち、本実施例では、多孔質シリコン層23を用いているので、非多孔質シリコン層を用いた場合(従来)に比べて、抵抗温度変化係数Rが大きくなり、熱伝導率が小さくなるので、感度は高くなる。

【0031】抵抗温度変化係数Rが大きくなる理由は、多孔質化により結晶構造の微細化が生じ、これにより生じる量子効果によりバンドギャップが広くなつて比抵抗変化が増大するからである。

【0032】具体的には、バンドギャップは $1.1 eV$ から約 $2.4 eV$ に増大し、室温では比抵抗 $\rho$ は約 $100$ 倍の $1 k\Omega cm$ となる。そして、抵抗温度係数Rは約 $10\%$ ( $10$ 倍)に増大し、熱伝導率は約 $1/10$ に低減する。

【0033】シリコンの比抵抗 $\rho$ の赤外線感度は、抵抗温度変化係数Rに比例し、熱伝導率に反比例する。したがって、多孔質シリコン層を用いることにより、感度は約 $100$ 倍高くなり、感度は大幅に向上する。

【0034】さらに、比抵抗 $\rho$ の増大によってバイアス電圧 $1 V$ 当たりに流れる電流は従来の $20\mu A$ から $0.2\mu A$ 以下に減少し、これにより、バイアス電圧による

熱雑音は約1/100になり、これによっても感度は高くなる。

【0035】これらの効果により従来不可能であった10μm近傍の赤外線も容易に検出できるようになる。また、発生する熱雑音が減少し、赤外線感度の指標としての温度分解能は0.05°Cという優れた値となる。なお、図2中、12, 13, 14はMOSトランジスタ4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>のソース・ドレイン領域であるn型拡散層を示しており、n型拡散層13はMOSトランジスタ4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>で共通に用いられている。また、15, 16はそれぞれMOSトランジスタ4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>のゲート配線、17, 18はそれぞれMOSトランジスタ4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>のゲート電極、15, 16を示している。ゲート配線15は垂直レジスタ5に接続され、ゲート配線16は水平レジスタ6に接続されている。また、11は赤外線入力部とn型拡散層12とを接続する電極、19は赤外線入力部1を型シリコン基板21に接地する電極を示している。

【0036】図3は、赤外線入力部1の形成方法を示す工程断面図である。まず、図3(a)に示すように、層間絶縁膜27上に導電性酸化亜鉛からなる厚さ約2μmの半絶縁膜30を形成した後、全面に厚さ2μmの多結晶シリコン層25を形成する。

【0037】次に半絶縁膜30を一方の電極、白金等の金属を他方の電極(対向電極)に用い、20mA/cm<sup>2</sup>の条件でフッ酸水溶液中で多結晶シリコン層25を陽極エッチングする。この結果、図3(b)に示すように、半絶縁膜30上の多結晶シリコン層が選択的に多孔質シリコン層23に変わる。

【0038】この後、同図(b)に示すように、砒素などの不純物のイオン31を加速電圧30keV、ドーズ量1×10<sup>13</sup>の条件で多孔質シリコン層23および多結晶シリコン層25の表面にイオン注入してn型層(不図示)を形成する。

【0039】次に図3(c)に示すように、多結晶シリコン層25をエッチングして、所定のサイズ(例えば20×20μm<sup>2</sup>)の画素を形成する。次に図3(d)に示すように、半絶縁膜30を選択的にエッチング除去して空隙部26を形成した後、上記n型層を除去して多孔質シリコン層23および多結晶シリコン層25の表面を粗面化する。

【0040】最後に、図3(e)に示すように、多孔質シリコン層23上にショットキー電極24を形成する。(第2の実施例)図4は、本発明の第2の実施例に係る半導体赤外線検出装置の概略構成を示す回路図である。なお、以下の図において、前出した図と同一符号(添字が異なるものを含む)は同一部分または相当部分を示し、詳細な説明は省略する。

【0041】本実施例の半導体赤外線検出装置が第1の実施例のそれと異なる点は、赤外線入力部(画素)とし

て、pn接合を形成する多孔質シリコン層の熱電対からなる赤外線入力部(画素)41を用いたことにある。

【0042】また、この熱電対のゼーベック効果により生じる熱起電力によって流れる各赤外線入力部41の電流(信号電荷)は、MOSトランジスタ4を介して、CCD(垂直CCD32、水平CCD33)により、差動增幅器2からなる熱起電力変化検出部3aに転送される。なお、水平CCD33と差動增幅器2の+端子との間に図示しない抵抗が設けられている。

【0043】このように構成された半導体赤外線検出装置によれば、赤外線入力部1aに赤外線が入力されてゼーベック効果による熱起電力変化が変化すると、信号電荷が変化し、この信号電荷はCCDにより差動增幅器2に転送される。そして、差動增幅器2の+端子に入力される際に上記図示しない抵抗により電圧に変換され、この電圧と差動增幅器2の一端子の入力電圧V<sub>2</sub>(=ゼロ)との差に対応した電圧が差動增幅器2により増幅される。

【0044】したがって、赤外線の入力により生じる赤外線入力部1aのpn接合を形成する多孔質半導体層の温度変化に対応したゼーベック効果による熱起電力変化を電圧の変化として検出できる。

【0045】図5は、赤外線入力部1aの構造を示す断面図である。この赤外線入力部1aは、大きく分けて、pn接合を形成するp型多孔質シリコン層23pおよびn型多孔質シリコン層23n(以下、pn接合多孔質シリコン層という)と、これらの上に順次設けられた絶縁層としての二酸化シリコン層34、赤外線吸収層としてのニクロム層35とから構成されている。

【0046】赤外線20はニクロム層35に入射し、ニクロム層35は赤外線20を吸収して温度上昇し、これにより、pn接合多孔質シリコン層は温度上昇する。このpn接合多孔質シリコン層の下部には空隙部26が存在し、これにより、pn接合多孔質シリコン層から発散する熱は空隙部26に溜まり逃げ難くなり、熱伝導率を小さくできる。

【0047】このような機構により、赤外線20の入射により生じるpn接合多孔質シリコン層の温度変化が大きくなるので、感度は高くなる。さらに、本実施例の場合、バイアス電圧が不要なので、これによっても感度は高くなる。

【0048】さらにまた、本実施例では以下の理由によっても感度が高くなる。本実施例では、pn接合多孔質シリコン層を用いているので、非多孔質pn接合半導体層を用いた場合(従来)に比べて、熱伝導率が小さくなる。さらに、上述したように、多孔質化によりバンドギャップが広くなることにより、ゼーベック係数S(=ΔV/ΔT = (2 + (W<sub>c</sub> - W<sub>f</sub>) / kT) · k/e)が大きくなる。

【0049】具体的には、バンドギャップは1.1eV

から約2.4eVに増大し、熱伝導率は約1/10に低減する。赤外線感度は、ゼーベック係数Sに比例し、熱伝導率に反比例する。したがって、pn接合多孔質シリコン層を用いることにより、感度は約20倍高くなる。これらの効果により従来不可能であった10μm近傍の赤外線も検出できるようになる。

【0050】また、本実施例ではpn接合の数は一つであるが、pn接合を複数直列接続することにより、さらに高い感度を達成できる。感度はpn接合の接続数に比例して高くなり、例えば、25個接続することにより、赤外線感度の指標としての温度分解能は0.05°Cという優れた値が得られる。

【0051】また、本実施例の検出方法は光電効果を利用したものではないので、本実施例の半導体赤外線検出装置は非冷却で、つまり、室温で使用することができる。なお、図5中、36, 37, 38はそれぞれ垂直CCD32を構成するMOSトランジスタのソース・ドレイン領域(n型拡散層)、ゲート電極、ゲート配線を示している。

【0052】図6は、赤外線入力部1aの形成方法を示す工程断面図である。まず、図6(a)に示すように、層間絶縁膜27上に導電性酸化亜鉛からなる厚さ約2μmの半絶縁膜30を形成した後、全面に厚さ2μmのp型多結晶シリコン層25を形成する。

【0053】次に半絶縁膜30を一方の電極、白金等の金属を他方の電極(対向電極)に用い、20mA/cm<sup>2</sup>の条件でフッ酸水溶液中でp型多結晶シリコン層25を陽極エッチングする。この結果、図6(b)に示すように、半絶縁膜30上の多結晶シリコン層が選択的にp型多孔質シリコン層23pに変わる。

【0054】次に図6(c)に示すように、リンなどの不純物のイオンを加速電圧150KeV、ドーズ量1×10<sup>13</sup>の条件でp型多孔質シリコン層23の右側に選択的に注入してn型多孔質シリコン層23nを形成する。この後、900°Cの熱処理を行なってpn接合多孔質シリコン層が完成する。

【0055】次に図6(d)に示すように、全面に二酸化シリコン層34、ニクロム層35を順次形成した後、p型多結晶シリコン層25p、二酸化シリコン層34、ニクロム層35をエッチングして、所定のサイズ(例えば5×10μm<sup>2</sup>)の画素を形成する。

【0056】最後に、図6(e)に示すように、半絶縁膜30を選択的にエッチング除去して空隙部26を形成を形成する。なお、本発明は上述した実施例に限定されるものではない。例えば、上記実施例では、多孔質シリコン層は多結晶シリコン層を多孔質化したものだが、アモルファスシリコン層を多孔質化したものを用いても良い。また、上記実施例では、光入力部は二次元的に配列したが一次元的に配列しても良い。また、上記実施例では、赤外線を検出する半導体光検出装置について説明し

たが、本発明は他の波長領域の光を検出する半導体光検出装置にも適用できる。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施できる。

### 【0057】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明(請求項1、請求項2)によれば、多孔質半導体層からなる光入力部を用いることにより、従来よりも高い感度の半導体光検出装置を実現できるようになる。

### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係る半導体赤外線検出装置の概略構成を示す回路図

【図2】図1の半導体赤外線検出装置の赤外線入力部の構造を示す断面図

【図3】図1の半導体赤外線検出装置の赤外線入力部の形成方法を示す工程断面図

【図4】本発明の第2の実施例に係る半導体赤外線検出装置の概略構成を示す回路図

【図5】図4の半導体赤外線検出装置の赤外線入力部の構造を示す断面図

【図6】図4の半導体赤外線検出装置の赤外線入力部の形成方法を示す工程断面図

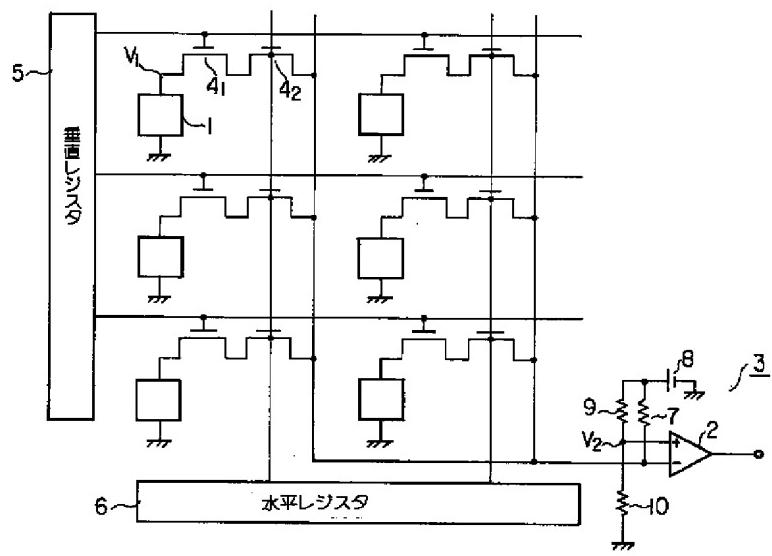
### 【符号の説明】

- 1, 1a…赤外線入力部
- 2…差動増幅器
- 3…抵抗変化検出部
- 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>…MOSトランジスタ
- 5…水平レジスタ
- 6…垂直レジスタ
- 7…抵抗
- 8…バイアス電圧源
- 9, 10…抵抗
- 11…電極
- 12, 13, 14…n型拡散層
- 15, 16…ゲート配線
- 17, 18…ゲート電極
- 19…電極
- 20…赤外線
- 21…シリコン基板
- 22…素子分離絶縁膜
- 23…多孔質シリコン層
- 23n…n型多孔質シリコン層
- 23p…p型多孔質シリコン層
- 24…ショットキー電極
- 25…多結晶シリコン層
- 25p…p型多結晶シリコン層
- 26…空隙
- 27…層間絶縁膜
- 30…半絶縁膜
- 31…イオン
- 32…垂直CCD

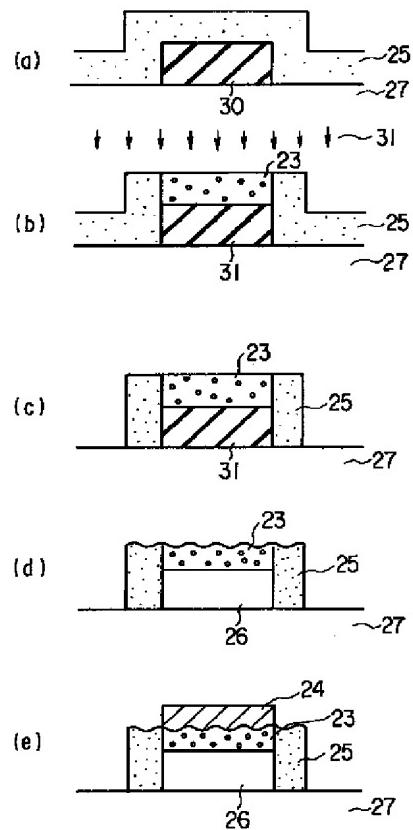
33…水平CCD  
34…二酸化シリコン層  
35…ニクロム層

36…n型拡散層  
37…ゲート電極  
38…ゲート配線

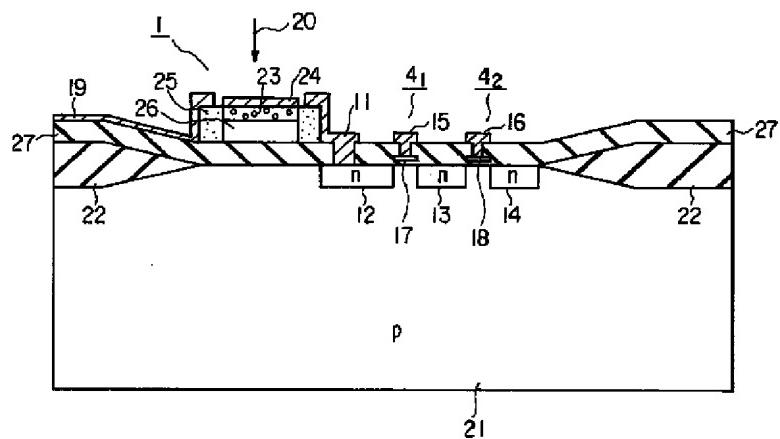
【図1】



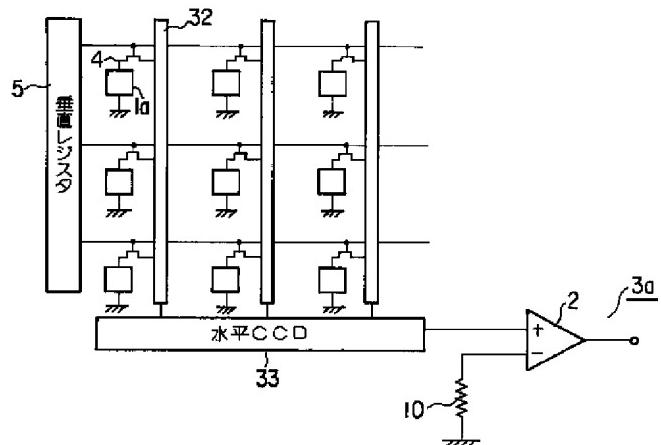
【図3】



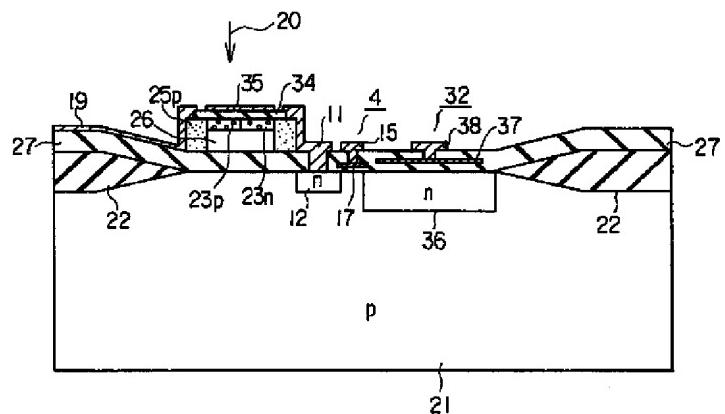
【図2】



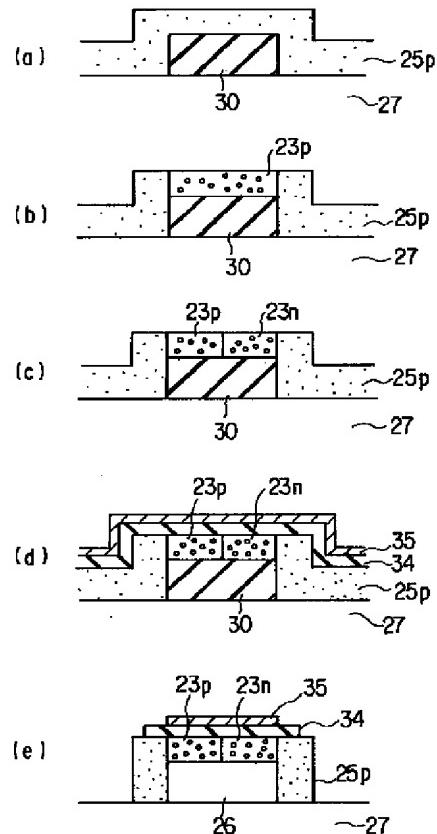
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 酒井 忠司  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内